

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005年6月30日 (30.06.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/058672 A1

(51) 国際特許分類: B62D 6/00
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/018425
 (22) 国際出願日: 2004年12月3日 (03.12.2004)
 (25) 国際出願の言語: 日本語
 (26) 国際公開の言語: 日本語
 (30) 優先権データ:
 特願 2003-417689
 2003年12月16日 (16.12.2003) JP
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒141-8560 東京都品川

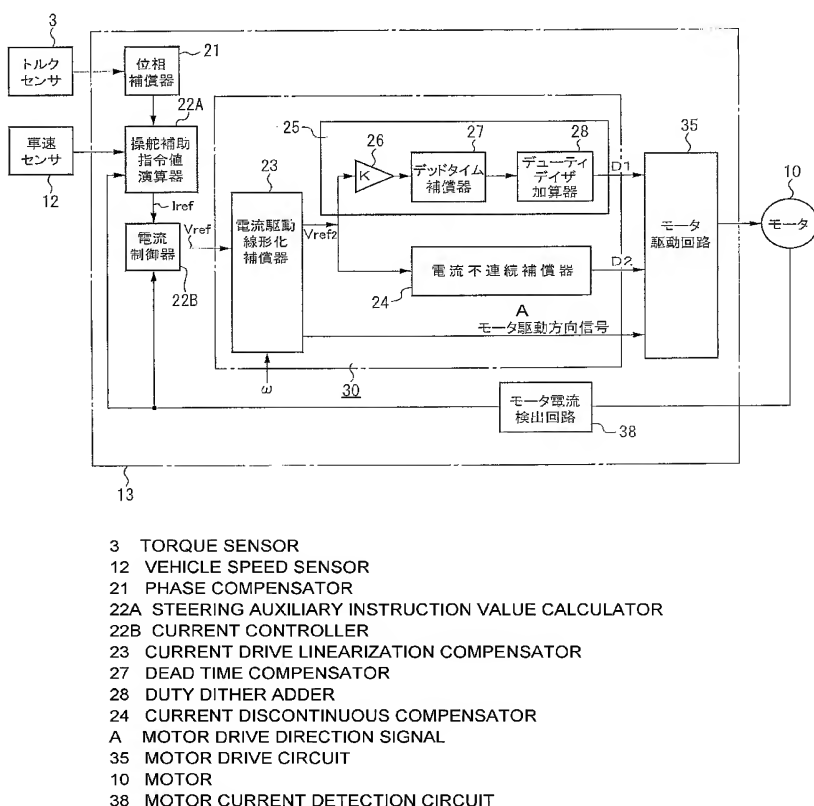
区大崎1丁目6番3号 Tokyo (JP). NSKステアリングシステムズ株式会社 (NSK STEERING SYSTEMS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒141-8560 東京都品川区大崎一丁目6番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小林 秀行 (KOBAYASHI, Hedeyuki) [JP/JP]; 〒371-8527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP). 坂口 徹 (SAKAGUCHI, Toru) [JP/JP]; 〒371-8527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP). 原 雄志 (HARA, Takeshi) [JP/JP]; 〒371-8527 群馬県前橋市鳥羽町78番地 NSKス

[続葉有]

(54) Title: ELECTRIC POWER STEERING DEVICE

(54) 発明の名称: 電動パワーステアリング装置



(57) Abstract: There is provided an electric power steering device for linearizing discontinuous non-linear characteristic generated in the relationship of the duty ratio between the motor current generated in the vehicle steering wheel return state and the PWM signal, thereby suppressing generation of a noise and enabling a driver to feel smooth steering sense. The electric power steering device has an electric control circuit (13) which calculates Vref outputted from a current controller (22B) connected to a steering auxiliary instruction value calculator (22A), in a current drive linearization compensator (23) to obtain Vref2, performs processing in a compensation adder (25) to obtain a duty D1, and processes the Vref2 in the current discontinuous compensator (24) so as to obtain a duty D2. A motor drive circuit (35) has an H bridge circuit whose upper stage FET (1) is driven by the duty D1 and the lower FET (3) making a pair together with the upper FET (1) is driven by the duty D2. Thus, it is possible to continuously linearize the duty ratio characteristic between the motor current and the PWM signal.

(57) 要約: 車両のハンドル戻しの状態において発生するモータ電流とPWM信号のデューティ比の関係に生ずる不連続非線形特性を線形化し、ノイズの発生を

[続葉有]



テアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP). 根城栄 (NEJO, Sakae) [JP/JP]; 〒371-8527 群馬県 前橋市 鳥羽町 7 8 番地 NSKステアリングシステムズ株式会社内 Gunma (JP).

(74) 代理人: 貞重 和生 (SADASHIGE, Kazuo); 〒107-0052 東京都 港区 赤坂 1 丁目 6 番 7 号 第 9 興和ビル別館 5 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— USのための発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

抑え、円滑な操舵感覚が得られる電動パワーステアリング装置である。電動パワーステアリング装置の電子制御回路13は、操舵補助指令値演算器22Aにつながる電流制御器22Bから出力されるVrefを電流駆動線形化補償器23で演算してVref2を算出し、補償加算器25で処理してデューティD1を得、またVref2を電流不連続補償器23で処理してデューティD2を得る。モータ駆動回路35のHブリッジ回路の上段FET1をデューティD1で駆動し、上段FET1と対となる下段FET3をデューティD2で駆動する。これによりモータ電流対PWM信号デューティ比特性を連続線形化することができる。

明細書

電動パワーステアリング装置

技術分野

この発明は、電動パワーステアリング装置に関し、特にその制御装置に関するものである。

背景技術

車両用の電動パワーステアリング装置には、操向ハンドルの操作によりステアリングシャフトに発生する操舵トルクその他を検出し、その検出信号に基づいてモータの制御目標値である操舵補助指令値を演算し、電流フィードバック制御回路において、前記した制御目標値である操舵補助指令値とモータ電流の検出値との差を電流制御値として求め、電流制御値によりモータを駆動して操向ハンドルの操舵力を補助するものがある。

このような電動式パワーステアリング装置では、第7図に示すように、4個の電界効果型トランジスタFET 1 ～FET 4 をブリッジに接続して第1及び第2の2つのアームを備えたHブリッジ回路を構成し、その入力端子間に電源Vを、出力端子間に前記モータMを接続したモータ制御回路が使用されている。

そして、前記モータ制御回路を構成するHブリッジ回路の互いに対向する2つのアームを構成する2個1組のFETのうち、第1のアームのFET 1（或いは第2のアームのFET 2）を電流制御値に基づいて決定されるデューティ比DのPWM信号（パルス幅変調信号）で駆動することにより、モータ電流の大きさが制御される。

また、前記電流制御値の符号に基づいて第2のアームのFET 3 をON、第1のア

ムのFET 4 をOFF (或いは第2のアームのFET 3 をOFF、第1のアームのFET 4 をON)に制御することにより、モータMの回転方向が制御される。

FET 3 が導通状態にあるときは、電流はFET 1、モータM、FET 3 を経て流れ、モータMに正方向の電流が流れる。第2のアームのFET 4 が導通状態にあるときは、電流はFET 2、モータM、FET 4 を経て流れ、モータMに負方向の電流が流れる。このモータ制御回路は、同一アーム上のFETが同時に駆動されることがないのでアームが短絡される可能性が低く、信頼性が高いため広く利用されている。

第8図は、モータ電流 I (モータに実際に流れる電流であり、モータ電流の検出値とは異なる)とPWM信号のデューティ比 D との関係を示すものである。即ち、操向ハンドルが操作されて操舵トルクが発生している状態では、モータ電流 I とデューティ比 D との関係は、第8図において線(a)で示すように変化し、制御回路において操舵トルクの検出信号に基づいてモータ電流の制御目標値である操舵補助指令値 I_{ref} が演算され、演算された操舵補助指令値 I_{ref} とフィードバックされるモータ電流の検出値 i との差の電流制御値 E がモータ駆動回路に出力されるから、モータ駆動回路の半導体素子を制御するデューティ比 D はある値をとり、格別の支障は生じない。

しかしながら、操向ハンドルを切った後、セルフアライニングトルクにより操向ハンドルが直進走行位置に戻るとき(以下、「ハンドル戻し」という)は、操舵トルクが発生していない状態にあるから、モータ電流の制御目標値である操舵補助指令値 I_{ref} は零となるが、モータに逆起電力が発生するため、モータ電流 I とデューティ比 D との関係は、第8図において線(b)で示すように、逆起電力に相当するだけ上方に移動し、デューティ比 D の値が零の付近でモータ電流 I とデューティ比 D との関係に不連続部分 x が生じる。

一方、フィードバック制御回路は電流制御値 E を演算しようとするが、操舵補助指令値 I_{ref} に対応するデューティ比 D がないため、第8図において線(c)で示すように、モ

ータ電流 I の不連続部分にほぼ対応した振幅の振動電流が電流制御値 E として出力される。このような振動電流の発生は、雑音の発生源となるほかフィードバック制御の安定性を阻害する原因ともなる。

そこで、本出願人は、その解決のため、モータ駆動回路を構成するHブリッジ回路の互いに対向する2つのアームを構成する2個1組の半導体素子のうち、第1のアームの半導体素子を前記電流制御値に基づいて決定される第1のデューティ比のPWM信号で駆動し、第2のアームの半導体素子を前記第1のデューティ比の関数で定義される第2のデューティ比のPWM信号で、それぞれ独立に駆動する構成を提案した。この構成によれば、図9に示すように、点 p と点 o とが直線で結ばれてハンドル戻しの状態など、操舵トルクが発生していない状態のときもデューティ比 D の値が零の付近でモータ電流 I とデューティ比 D との関係に不連続部分がなくなり、電流制御値 E として振動電流が出力されることがないので、雑音の発生がなく安定性のよいフィードバック制御を実現することができる(特開平9-39810号公報参照)。

上記したように、第1のアームの半導体素子を前記電流制御値に基づいて決定される第1のデューティ比のPWM信号で駆動し、第2のアームの半導体素子を前記第1のデューティ比の関数で定義される第2のデューティ比のPWM信号で、それぞれ独立に駆動する構成では、モータ電流 I とデューティ比 D との関係に不連続部分がなくなり、雑音の発生がなく安定性も改善される。しかしながら、図9からも明らかなように、モータ電流 I とデューティ比 D との関係が3段階に切換えられるから、その切換えに伴うチャタリングを皆無にすることが難しく、チャタリングによる制御音や振動が発生するという不都合が生じる。この発明は上記課題を解決することを目的とするものである。

発明の開示

この発明に係る電動パワーステアリング装置は、少なくともステアリングシャフトに発

生する操舵トルク信号に基づいて演算された操舵補助指令値に基づいてステアリング機構に操舵補助力を与えるモータの出力を制御する電動パワーステアリング装置において、前記操舵補助指令値に基づいてモータ端子間電圧を決定するデューティ比 D_1 及びデューティ比 D_2 を演算するデューティ比演算手段と、直列接続された2個の半導体素子を備えた第1及び第2のアームで構成されたHブリッジ回路の入力端子間に電源を、出力端子間に前記モータを接続し、Hブリッジ回路の第1のアームの上段の半導体素子を前記デューティ比 D_1 のPWM信号で駆動し、第2のアームの下段の半導体素子を前記デューティ比 D_2 のPWM信号で駆動するモータ駆動回路とを備え、前記デューティ比演算手段は、所定の演算式に基づいて、前記操舵補助指令値からデューティ比対モータ電流特性が連続した線形特性を示すようにデューティ比 D_1 及びデューティ比 D_2 を演算するものである。

そして、前記デューティ比演算手段は、モータ逆起電力に基づいてデューティ比対モータ電流特性が連続した線形特性を示すように、デューティ比 D_2 をデューティ比 D_1 と独立に演算する。

図面の簡単な説明

第1図は、Hブリッジ回路におけるモータ端子間電圧とモータ電流との関係を説明する図。

第2図は、第1図に示したモータ端子間電圧対モータ電流の不連続特性の連続特性への改善を説明する図。

第3図は、第2図に示したモータ端子間電圧対モータ電流の連続特性を完全線形特性への改善を説明する図。

第4図は、電動パワーステアリング装置の構成の概略を説明する図。

第5図は、電子制御回路のブロック図。

第6図は、モータ駆動回路の構成の一例を説明する図。

第7図は、電動パワーステアリング装置のモータ駆動回路として使用されるHブリッジ回路の基本構成を説明する図。

第8図は、モータ電流とPWM信号のデューティ比の関係に生ずる不連続部を説明する図。

第9図はモータ電流とPWM信号のデューティ比の関係に生ずる不連続部の解決手法を説明する図。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の実施の形態について説明する。まずこの発明の基本概念について説明する。この発明では、先に第9図を参照して説明したモータ電流 I とデューティ比 D との間の非線形の制御特性、即ち3段階に折れ曲がった直線からなる非線形の制御特性を更に改良し、制御特性を連続した線形特性にしようとするものである。

先に第7図を参照して説明したように、電動パワーステアリング装置のモータ制御回路は4個の電界効果型トランジスタFET1～FET4をブリッジに接続して第1及び第2の2つのアームを備えたHブリッジ回路から構成され、FET1～FET4は操舵補助指令値とフィードバックされるモータ電流の検出値との差である電流制御値 E に基づいて決定された第1のデューティ比 D_1 （以下、デューティ D_1 という）及び第2のデューティ比 D_2 （以下、デューティ D_2 という）のPWM信号で駆動される。

第1図は、このHブリッジ回路において、FET1をデューティ D_1 で、FET3をオン、即ちデューティ $D_2 = 100\%$ として駆動し、FET2とFET4をオフとしたときの、モータ端子間電圧 V_m とモータ電流 I との関係を示す図で、モータ角速度 ω が($\omega = -\alpha$)のとき、モータ端子間電圧 V_m をマイナス側からプラス側に増加させると、モータ端子間電圧 V_m が($V_m = -d_1$)においてモータ電流 i が急激に零($i = 0$)になる。また、モータ

タ角速度 ω が ($\omega = \alpha$) のとき、モータ端子間電圧 V_m をプラス側からマイナス側に減少させると、モータ端子間電圧 V_m が ($V_m = d_1$) においてモータ電流 i が急激に零 ($i = 0$) になる。

なお、前記説明ではモータ端子間電圧 V_m で説明したが、デューティ比 D はモータ端子間電圧 V_m を決定する比率であるから、モータ端子間電圧をデューティ比と置き換えることもできる。また、FET1とFET3の組み合わせを、FET2とFET4の組み合わせとすると、モータの回転方向が逆になるが、その動作は本質的に変わらないので、以下の説明では、FET1とFET3について説明する。

前記した非線形特性の改善を行うため、この発明では、前記第1及び第2の2つのアームを備えたHブリッジ回路において、FET1をデューティ D_1 で駆動し、FET3をデューティ D_2 で駆動するものとし、デューティ D_1 を以下の式(a)で設定し、デューティ D_2 を以下の式(b)で設定するものとする。

$$D_1 = V_{ref2} / V_r \dots\dots\dots (a)$$

$$D_2 = \{ V_{ref2} + \text{sign} (V_{ref2}) (V_r - |K_T \omega|) \} / V_r \dots\dots\dots (b)$$

$$\text{但し、} V_{ref2} = 1 / 2 (V_{ref} - K_T \omega)$$

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \text{ の範囲}$$

ここで、 V_{ref} : モータ端子間電圧指令値

V_{ref2} : 線形化モータ端子間電圧指令値

V_r : モータに供給される電圧 (バッテリー電圧)

K_T : モータの逆起電力定数

ω : モータ角速度

$\text{sign} (V_{ref2})$: 線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} の符号。

以下、前記したデューティ D_1 、及びデューティ D_2 の算出方法について説明す

る。

Hブリッジ回路のPWM信号駆動の基本式は、以下の式(1)で表される。

$$V_m = (D_1 + D_2) V_r - \text{sign}(D_1) V_r - K_T \omega \cdots \cdots (1)$$

但し、 V_m : モータ端子間電圧

D_1 : 上段FETを駆動する上段デューティ(値-1~+1)

D_2 : 下段FETを駆動する下段デューティ(値-1~+1)

V_r : モータに供給される電圧(バッテリー電圧)

K_T : モータの逆起電力定数

ω : モータ角速度

通常はデューティ D_2 は100%($D_2 = 1.0$)に固定し、デューティ D_1 のみを変化させる。従って、例えば、バッテリー電圧の30%($D_1 = 0.3$)をモータに印加するときのモータ端子間電圧 V_m は、 D_1 の符号 $\text{sign}(0.3)$ が正であるから、式(1)から以下のようなになる。

$$\begin{aligned} V_m &= (0.3 + 1) V_r - \text{sign}(0.3) V_r - K_T \omega \\ &= 0.3 V_r - K_T \omega \end{aligned}$$

しかしながら、先に説明した従来技術(特許文献1参照)では、既に説明したような不都合を解決するために、デューティ D_2 を以下の式(2)で演算している。

$$D_2 = D_1 + \text{sign}(D_1) \times B \cdots \cdots (2)$$

但し、 B は定数

そして、デューティ D_1 とモータ電流 I との関係が、第9図に示す特性になるように定数 B を決定する。なお、モータの内部抵抗は一定値として扱うことができるから、第9図に示す特性図は、モータ電流 I をモータ端子間電圧 V_m に置き換えても成立する。

以下、前記した定数 B の決定について説明する。前記式(1)に、デューティ D_1 と、モータ逆起電力 $K_T \omega$ とは異符号であるという条件を入れると、式(1)は以下の式(3)

に書き直すことができる。

$$V_m = (D_1 + D_2)V_r - \text{sign}(D_1)V_r + \text{sign}(D_1)|K_T \omega| \cdots \cdots (3)$$

式(3)は第8図に示す不感帯特性を表したものである。式(3)に上段デューティ D_1 が零($D_1 = 0$)のときにモータ端子間電圧 V_m が零($V_m = 0$)となる条件を代入すると、定数 B は以下の式(4)で表すことができる。

$$\begin{aligned} 0 &= (0 + D_2)V_r - \text{sign}(0)V_r + \text{sign}(0)|K_T \omega| \\ &= D_2 V_r - V_r + |K_T \omega| \quad \text{となり、これに、式(2)を代入すると、} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 &= \{D_1 + \text{sign}(D_1) \times B\}V_r - V_r + |K_T \omega| \\ &= B V_r - V_r + |K_T \omega| \end{aligned}$$

$$B = 1 - \{|K_T \omega| / V_r\} \cdots \cdots (4)$$

即ち、定数 B は上記式(4)で決定されるので、式(2)で表されるデューティ D_2 はデューティ D_1 の関数となる。

第2図は、先に説明した第9図を書き直したもので、第1図に示したモータ端子間電圧 V_m とモータ電流 I との不連続特性の改善を説明する図で、横軸はモータ電流 I に代えてデューティ D で示した。この第2図は不連続特性を示す部分 $A1'$ を部分 $A1$ に、部分 $A2'$ を部分 $A2$ に変換して不連続特性を連続特性に変換することを示している。

部分 $A1'$ 及び部分 $A2'$ の特性式は、この部分のデューティを D_1' とすれば以下の式(5)で表わすことができる。

$$V_m = V_r D_1' - K_T \omega \cdots \cdots (5)$$

デューティを D_1' をデューティを D_1 で定義することができれば、前記不連続特性を連続特性に変換することができる。式(1)に、式(2)、式(4)、式(5)を代入する。まず、式(1)に式(5)を代入する。

$$\begin{aligned} V_m &= (D_1 + D_2)V_r - \text{sign}(D_1)V_r - K_T \omega \\ V_r D_1' - K_T \omega &= (D_1 + D_2)V_r - \text{sign}(D_1)V_r - K_T \omega \end{aligned}$$

$$V_r D_{1'} = (D_1 + D_2) V_r - \text{sign}(D_1) V_r$$

この式の D_2 に式(2)を代入すると

$$V_r D_{1'} = \{D_1 + (D_1 + \text{sign}(D_1) \times B)\} V_r - \text{sign}(D_1) V_r$$

$$D_{1'} = 2D_1 + \text{sign}(D_1)(B-1)$$

この式を D_1 で解くと

$$D_1 = 1/2 \{D_{1'} - \text{sign}(D_1)(B-1)\}$$

この式の B に式(4)を代入すると

$$D_1 = 1/2 \{D_{1'} - \text{sign}(D_1) \{ |K_T \omega| / V_r \} \}$$

上段デューティ D_1 と $K_T \omega$ が異符号であるという条件を加えると、

$$D_1 = 1/2 \{D_{1'} - (K_T \omega / V_r)\} \dots \dots \dots (6)$$

となり、式(6)の右辺から $\text{sign } D_1$ を消去し、絶対値を外すことができるので、デューティ $D_{1'}$ はデューティ D_1 で定義することができる。

以上の説明は、第2図におけるモータ端子間電圧 V_m とモータ電流 I との不連続特性の部分 $A1'$ を部分 $A1$ に、部分 $A2'$ を部分 $A2$ に変換して不連続特性を連続特性に変換できることを説明したものであるが、なお、第2図において、モータ端子間電圧 V_m とモータ電流 I との特性は、 $p-o-q$ の3段階に折れ曲がった連続特性であるので、この3段階に折れ曲がった連続特性 $p-o-q$ を、第3図に示すような完全線形の連続特性 $p-q$ に変換する。

なお、この実施の形態では、モータ電流を制御する電流指令値 I_{ref} と検出されたモータ電流 i との差からモータ端子間電圧指令値 V_{ref} を演算してモータ端子間電圧を制御しており、デューティ比の値を電圧値として演算決定しているので、以下の説明ではモータ端子間電圧指令値 V_{ref} で説明する。

まず、前記式(6)にしたがってモータ端子間電圧指令値 V_{ref} を第2の電圧指令値である線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} にマッピング処理する。ここで「マッピン

グ」の意味は、第2図に示す3段階に折れ曲がった連続特性 $p-o-q$ を、第3図に示す完全線形の連続特性 $p-q$ に変換するように、モータ端子間電圧指令値 V_{ref} を線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} に変換することを指す。

上記マッピング処理は、デューティ $D_1 = V_{ref2} / V_r$ 、デューティ $D_1' = V_{ref} / V_r$ とおき、第2図に示す線 A_1 を A_1' に、線 A_2 を A_2' に変換させる処理である。

なお、この変換は第2図において $p-q$ の範囲に相当する非線形特性

$|V_{ref}| < |K_T \omega|$ の範囲である。

式(6)に、 $D_1 = V_{ref2} / V_r$ 、 $D_1' = V_{ref} / V_r$ を代入すると、式(6)は以下の式(7)で表され、式(7)によりマッピング処理が行われる。

$$V_{ref2} / V_r = 1/2 \{ (V_{ref} / V_r) - (K_T \omega / V_r) \}$$

$$V_{ref2} = 1/2 (V_{ref} - K_T \omega) \cdots \cdots (7)$$

デューティ D_1 の算出について説明する。前記したマッピング処理ではデューティ D_1 は $D_1 = V_{ref2} / V_r$ としており、また、 V_{ref2} は前記式(7)により表されるから、デューティ D_1 は以下の式(a)で表される。

$$\begin{aligned} D_1 &= \{ 1/2 (V_{ref} - K_T \omega) \} / V_r \\ &= V_{ref2} / V_r \cdots \cdots (a) \end{aligned}$$

なお、後述する実際の制御回路においては、式(a)で表されたデューティ D_1 に、デッドタイム補償、及びデューティディザ加算処理などの補償処理が行われるが、この処理を行うか否かは任意の選択事項とする。上記式(a)で決定されるデューティ D_1 には、デッドタイム補償、及びデューティディザ加算処理などの補償処理の結果は含まれていない。

次に、デューティ D_2 の演算について説明する。前記式(2)に式(4)、式(7)を代入すると、以下のとおりデューティ D_2 は以下の式(b)で表すことができる。

$$D_2 = D_1 + \text{sign}(D_1) \times B \cdots \cdots (2)$$

$$\begin{aligned}
 &= (V_{\text{ref2}} / V_r) + \text{sign}(V_{\text{ref2}} / V_r) \\
 &\quad \times \{1 - (|K_T \omega| / V_r)\} \\
 &= \{V_{\text{ref2}} + \text{sign}(V_{\text{ref2}})(V_r - |K_T \omega|)\} / V_r \dots\dots\dots (b)
 \end{aligned}$$

即ち、デューティD 2 は、前記したようにデューティD 1 を含まない式(a)で表すことができるのであり、このことは、デューティD 2 は、デューティD 1 とは独立して決定できることを意味している。

以上説明したマッピング処理は、第2図に示す特性図において、p-qの範囲で実行されるものであり、モータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とモータ逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件(c)が満たされることが求められる。

$$|V_{\text{ref}}| < |K_T \omega| \dots\dots\dots (c)$$

そして上記条件(c)が満たされるとき、デューティD 1 を前記式(a)により演算し、デューティD 2 を前記式(b)により演算する。条件が満たされないときは、マッピング処理を実行せずに通常の方法でデューティD 1、D 2 を算出するものとする。

しかし、条件の限界付近、即ち第2図のq点付近では、この条件が満たされるか否かによりマッピング処理で求められるデューティD 1、D 2 の値が大きく異なってくる。即ち、条件が満たされるとo点からq点へマッピング処理され、第3図に示す完全線形の連続特性p-qに変換されるが、条件が満たされないときはマッピング処理がされず、通常の方法でデューティD 1、D 2 が算出される。この場合、第2図に示す特性図は3段階に折れ曲がった連続特性p-o-qのままとなる。

モータ端子間電圧指令値 V_{ref} 、モータ逆起電力の $K_T \omega$ にノイズが含まれていた場合は、条件の限界付近(第2図のq点付近)で、条件が満たされたり満たされなかったり(条件成立／不成立)して、上記マッピング処理の実行／不実行が頻繁に切換えられて、デューティD 1、D 2 の値が頻繁に変動してチャタリングが発生し、雑音や振動が発生してしまう。

そこで、上記マッピング処理では、フィルタなどを使用してモータ端子間電圧指令値 V_{ref} 、及びモータ逆起電力 $K_T \omega$ からノイズ成分を除去した後、上記した条件の成立／不成立を判定するようにする。

即ち、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータ逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件 (d) が満たされるとき、

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \cdots \cdots (d)$$

マッピング処理を実行するためのデューティ D_1 を前記式 (a) により演算し、デューティ D_2 を前記式 (b) により演算するようにするとよい。条件が満たされないときは、マッピング処理を実行せずに通常の方法でデューティ D_1 、 D_2 を算出するものとする。

また、上記マッピング処理におけるチャタリングの発生防止のためには、上記条件にヒステリシス特性を付与してもよい。即ち、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータ逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間にヒステリシス特性を有する以下の条件 (e) が満たされるとき、

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \cdots \cdots (e)$$

マッピング処理を実行するためのデューティ D_1 を前記式 (a) により演算し、デューティ D_2 を前記式 (b) により演算するようにしてもよい。条件が満たされないときは、マッピング処理を実行せずに通常の方法でデューティ D_1 、 D_2 を算出するものとする。

さらに、ヒステリシス特性の限界値付近でのチャタリングの発生を防止するためには、前回の条件の成立／不成立に関係なく、前回の判定結果を維持するようにしてもよい。

即ち、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータ逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件 (f) が満たされるとき、

$$(|V_{ref}| - |K_T \omega|) < -H_{ys} \cdots \cdots (f)$$

但し、 H_{ys} : ヒステリシス幅特性値

マッピング処理を実行するためのデューティD₁を前記式(a)により演算し、デューティD₂を前記式(b)により演算するようにしてもよい。

このとき、条件(f)が満たされない($H_{ys} < (|V_{ref}| - |K_T \omega|)$)場合は、マッピング処理を実行せずに、通常の方法でデューティD₁、D₂を算出するものとする。

さらに、上記した条件(f)が満たされ、且つ以下の条件(g)が満たされるときは、マッピング処理を実行せずに、前回の条件の判定結果(条件(f)の成立又は不成立)を維持するようにしてもよい。

$$-H_{ys} < (|V_{ref}| - |K_T \omega|) < H_{ys} \cdots \cdots (g)$$

なお、ヒステリシス幅特性値 H_{ys} は、モータ端子間電圧指令値 V_{ref} やモータ逆起電力 $K_T \omega$ に含まれるノイズの大きさに応じて、実験などにより適宜決定するとよい。

次に、この発明を実施するに適した電動パワーステアリング装置の概略を、第4図乃至第6図を参照して説明する。第4図は電動パワーステアリング装置の構成の概略を説明する図で、操向ハンドル1の軸2は減速ギア4、ユニバーサルジョイント5a、5b、ピニオンラック機構7を経て操向車輪のタイロッド8に結合されている。軸2には操向ハンドル1の操舵トルクを検出するトルクセンサ3が設けられており、また、操舵力を補助するモータ10がクラッチ9、減速ギア4を介して軸2に結合している。

パワーステアリング装置を制御する電子制御回路13は、バッテリー14からイグニッションキー11を経て電力が供給される。電子制御回路13は、トルクセンサ3で検出された操舵トルクと車速センサ12で検出された車速に基づいて操舵補助指令値の演算を行い、演算された操舵補助指令値に基づいてモータ10に供給する電流を制御する。

クラッチ9は電子制御回路13により制御される。クラッチ9は通常の動作状態では結合しており、電子制御回路13によりパワーステアリング装置の故障と判断された時、及び電源がOFFとなっている時に切離される。

第5図は、電子制御回路13のブロック図である。この実施例では電子制御回路13は主としてCPUから構成されるが、ここではそのCPU内部においてプログラムで実行される機能を示してある。例えば、位相補償器21は独立したハードウェアとしての位相補償器21を示すものではなく、CPUで実行される位相補償機能を示す。

以下、電子制御回路13の機能と動作を説明する。トルクセンサ3から入力された操舵トルク信号は、位相補償器21で操舵系の安定を高めるために位相補償され、操舵補助指令値演算器22Aに入力される。また、車速センサ12で検出された車速信号も操舵補助指令値演算器22Aに入力される。

操舵補助指令値演算器22Aは、入力された操舵トルク信号、車速信号、及び検出されたモータ電流値 i に基づいて所定の演算式により操舵補助指令値(電流指令値) I_{ref} を演算する。電流制御器22Bは入力された操舵補助指令値(電流指令値) I_{ref} 及び検出されたモータ電流値 i に基づいてモータ端子間電圧指令値 V_{ref} を演算する。

デューティ比演算手段を構成するデューティ比演算装置30は、電流駆動線形化補償器23、電流不連続補償器24、及び補償加算器25から構成され、補償加算器25は乗算器26、デッドタイム補償器27、デューティディザ加算器28から構成され、デューティ D_1 、デューティ D_2 、及びモータ駆動方向信号を出力する演算手段である。

電流駆動線形化補償器23は、モータ端子間電圧指令値 V_{ref} 、バッテリー電圧 V_r 、及びモータ角速度 ω (図示しないモータ角速度センサで検出、またはモータ端子間電圧、モータ電流から推定)を入力として、前記式(6)(7)に基づいて線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} を演算する。演算値 V_{ref2} は電流不連続補償器24、及び補償加算器25に入力される。

補償加算器25は前記式(a)に基づいてデューティ D_1 を演算するもので、乗算器26において線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} に所定のゲイン K を乗算し、デッドタイム補償器27、デューティディザ加算器28においてデッドタイム補償及びデューティ

ディザ加算処理などの補償処理を行ない、補償処理したデューティD₁を演算する。

電流不連続補償器24は前記式(b)に基づいてデューティD₂を演算するもので、線形化モータ端子間電圧指令値V_{ref2}からデューティD₂を演算する。

演算されたデューティD₁及びデューティD₂、並びに電流駆動線形化補償器23から出力されたモータ駆動方向信号はモータ駆動回路35に入力される。

第6図にモータ駆動回路35の構成の一例を示す。モータ駆動回路35はFETゲート駆動回路36、FET1～FET4からなるHブリッジ回路37から構成され、入力された上段デューティD₁及び下段デューティD₂、並びにモータ駆動方向信号に基づいてFET1～FET4を駆動する。

モータ電流検出回路38は、抵抗R₁の両端における電圧降下に基づいて正方向電流の大きさを検出し、また、抵抗R₂の両端における電圧降下に基づいて負方向電流の大きさを検出する。検出されたモータ電流値iは操舵補助指令値演算器22A及び電流制御器22Bにフィードバックされる。

ここで、デッドタイム補償及びデューティディザ加算処理について説明する。まず、デッドタイム補償について説明する。Hブリッジ回路を使用したモータ駆動回路ではPWM信号のデューティDに基づいて信号がHからLに切り換えられる時点、或いは信号がLからHに切り換えられる時点において、Hブリッジ回路の2つのアームが同時に導通して短絡することを防ぐため、PWM信号の切換え時点にデッドタイムを設ける処理である。デッドタイム補償は本願発明の主題ではないので、ここでは説明を省略するが、本出願人の出願に係る特開平8-142884号公報に記載されている。

次にデューティディザ加算処理について説明する。Hブリッジ回路を使用したモータ駆動回路ではPWM信号のデューティDが零付近では、デューティD対モータ電流特性に不感帯が生じて制御の応答性が悪く、自然の操舵感覚が得られない。そこで不感帯付近では電圧ディザ信号をモータに供給して制御の応答性を改善し、自然の操

舵感覚に近付ける処理である。デューティディザ加算処理は本願発明の主題ではないので、ここでは説明を省略するが、本出願人の出願に係る特開2003-11834号公報に記載されている。

以上説明したとおり、この発明によれば、モータ角速度零付近においてデューティ比D対モータ電流特性が連続した線形特性を示すから、従来の電動パワーステアリング装置の制御装置のように、モータ角速度零付近においてデューティ比D対モータ電流特性の不連続部分を解消するほか、段階的な連続特性を解消することができるから、操舵ハンドルを切った後に直線走行に戻るときのハンドル戻し時においてもフィードバック特性が変化することがなくなり、操舵感覚に違和感を与えることなく極めて滑らかな操舵感覚を与えることができる。

更に、ハンドル戻し時にモータに発生する逆起電力が連続して変化し、段階的な変化が発生しないからチャタリングが発生することがなく、チャタリングによるノイズの発生もなく、カーラジオ等に雑音を発生させるおそれもない等、従来の装置に見られない顕著な効果を奏するものである。

産業上の利用可能性

この発明は車両用の電動パワーステアリング装置に関するもので、半導体素子をブリッジ接続したHブリッジ回路を使用したモータ駆動回路では、半導体素子を駆動するPWM信号のデューティDが零付近で生じるデューティD対モータ電流特性の不連続特性を線形特性として、制御の応答性を改善し自然の操舵感覚が得られる様にしたものである。

請求の範囲

1. 少なくともステアリングシャフトに発生する操舵トルク信号に基づいて演算された操舵補助指令値に基づいてステアリング機構に操舵補助力を与えるモータの出力を制御する電動パワーステアリング装置において、

前記操舵補助指令値に基づいてモータ端子間電圧を決定するデューティ比 D_1 及びデューティ比 D_2 を演算するデューティ比演算手段と、

直列接続された2個の半導体素子を備えた第1及び第2のアームで構成されたHブリッジ回路の入力端子間に電源を、出力端子間に前記モータを接続し、Hブリッジ回路の第1のアームの上段の半導体素子を前記デューティ比 D_1 のPWM信号で駆動し、第2のアームの下段の半導体素子を前記デューティ比 D_2 のPWM信号で駆動するモータ駆動回路とを備え、

前記デューティ比演算手段は、所定の演算式に基づいて、前記操舵補助指令値からデューティ比 D 対モータ電流特性が連続した線形特性を示すようにデューティ比 D_1 及びデューティ比 D_2 を演算するものであることを特徴とする電動パワーステアリング装置。

2. 前記デューティ比演算手段は、モータ逆起電力に基づいてデューティ比対モータ電流特性が連続した線形特性を示すように、デューティ比 D_2 をデューティ比 D_1 と独立に演算することを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載の電動パワーステアリング装置。

3. 少なくともステアリングシャフトに発生する操舵トルク信号に基づいて演算された操舵補助指令値に基づいてステアリング機構に操舵補助力を与えるモータの出力を制御する電動パワーステアリング装置において、

前記操舵補助指令値に基づいてモータ端子間電圧を決定するデューティ比D 1 及びデューティ比D 2 を演算するデューティ比演算手段と、

直列接続された2個の半導体素子を備えた第1及び第2のアームで構成されたHブリッジ回路の入力端子間に電源を、出力端子間に前記モータを接続し、Hブリッジ回路の第1のアームの上段の半導体素子を前記デューティ比D 1 のPWM信号で駆動し、第2のアームの下段の半導体素子を前記デューティ比D 2 のPWM信号で駆動するモータ駆動回路とを備え、

前記デューティ比演算手段は、モータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とモータの逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件(c)が満たされるとき、

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \dots\dots\dots (c)$$

前記デューティ比D 1 を以下の式(a)により演算し、前記デューティ比D 2 を以下の式(b)により演算すること

$$D1 = V_{ref2} / V_r \dots\dots\dots (a)$$

$$D2 = \{V_{ref2} + \text{sign}(V_{ref2})(V_r - |K_T \omega|)\} / V_r \dots\dots\dots (b)$$

但し、 V_{ref} : モータ端子間電圧指令値

V_{ref2} : 線形化モータ端子間電圧指令値

$$= 1/2(V_{ref} - K_T \omega)$$

V_r : モータに供給される電圧(バッテリー電圧)

K_T : モータの逆起電力定数

ω : モータ角速度

$\text{sign}(V_{ref2})$: 線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} の符号

を特徴とする電動パワーステアリング装置。

4. 前記デューティ比演算手段は、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータの逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件(d)が満たされるとき、

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \cdots \cdots (d)$$

前記デューティ比 D_1 を前記式(a)により演算し、デューティ比 D_2 を前記式(b)により演算すること

を特徴とする特許請求の範囲第3項に記載の電動パワーステアリング装置。

5. 前記デューティ比演算手段は、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータ逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、ヒステリシス特性を有する以下の条件(e)が満たされるとき、

$$|V_{ref}| < |K_T \omega| \cdots \cdots (e)$$

前記デューティ比 D_1 を前記式(a)により演算し、デューティ比 D_2 を前記式(b)により演算すること

を特徴とする特許請求の範囲第3項に記載の電動パワーステアリング装置。

6. 前記デューティ比演算手段は、ノイズが除去されたモータ端子間電圧指令値の絶対値 V_{ref} とノイズが除去されたモータの逆起電力の絶対値 $K_T \omega$ との間に、以下の条件(f)が満たされるとき、

$$(|V_{ref}| - |K_T \omega|) < -H_{ys} \cdots \cdots (f)$$

但し、 H_{ys} :ヒステリシス幅特性値

前記デューティ比 D_1 を前記式(a)により演算し、デューティ比 D_2 を前記式(b)により演算し、以下の条件(g)が満たされるときは、前回の判定結果を維持すること

$$-H_{ys} < (|V_{ref}| - |K_T \omega|) < H_{ys} \cdots \cdots (g)$$

を特徴とする特許請求の範囲第3項に記載の電動パワーステアリング装置。

7. 前記ヒステリシス幅特性値 H_{ys} は、ノイズの大きさに応じて決定されること

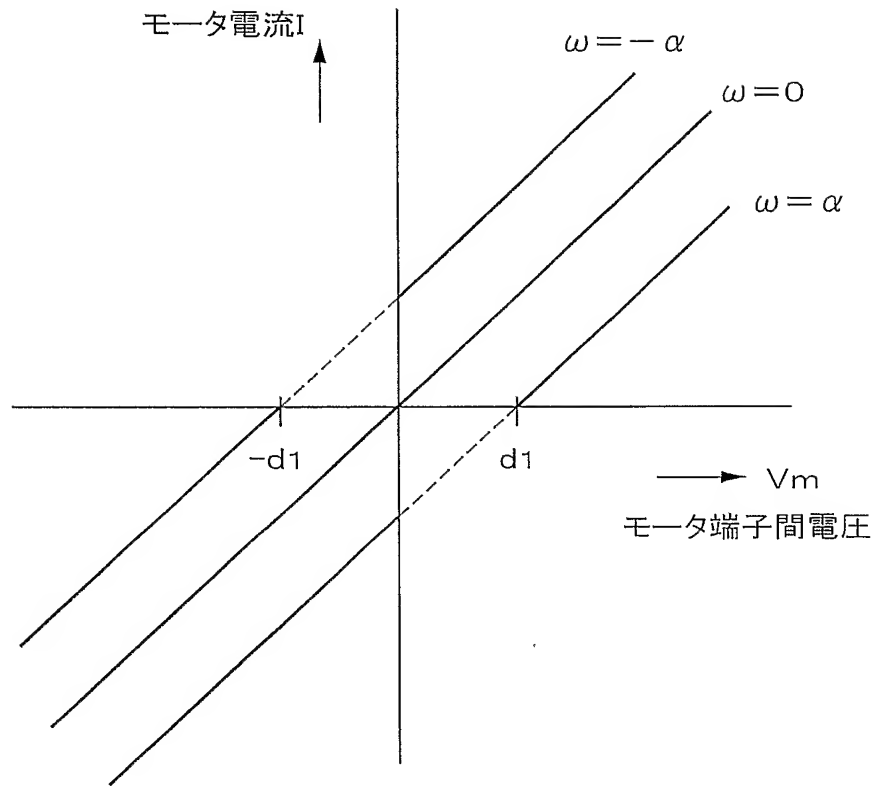
を特徴とする特許請求の範囲第5項又は第6項に記載の電動パワーステアリング装置。

8. 前記デューティ比演算手段は、電流駆動線形化補償器及び電流不連続補償器から構成され、前記電流駆動線形化補償器はモータ端子間電圧指令値 V_{ref} を入力として前記式(a)に基づいて線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} に対応するデューティ比 D_1 を演算し、電流不連続補償器は線形化モータ端子間電圧指令値 V_{ref2} を入力として前記式(b)に基づいてデューティ比 D_2 を演算すること

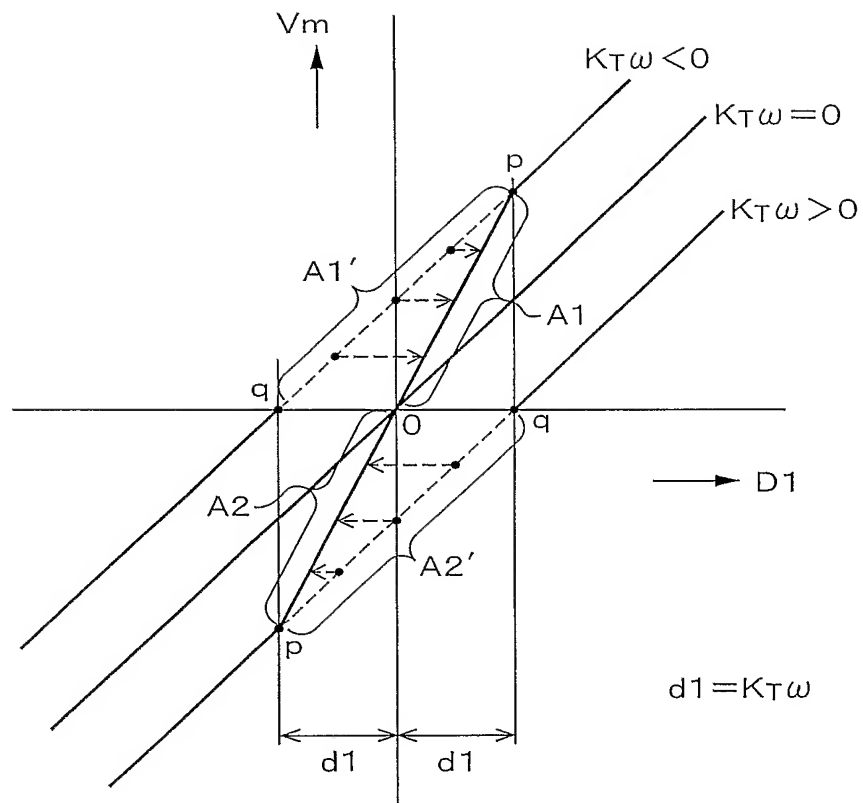
を特徴とする特許請求の範囲第3項乃至第6項のいずれかに記載の電動パワーステアリング装置。

1/9

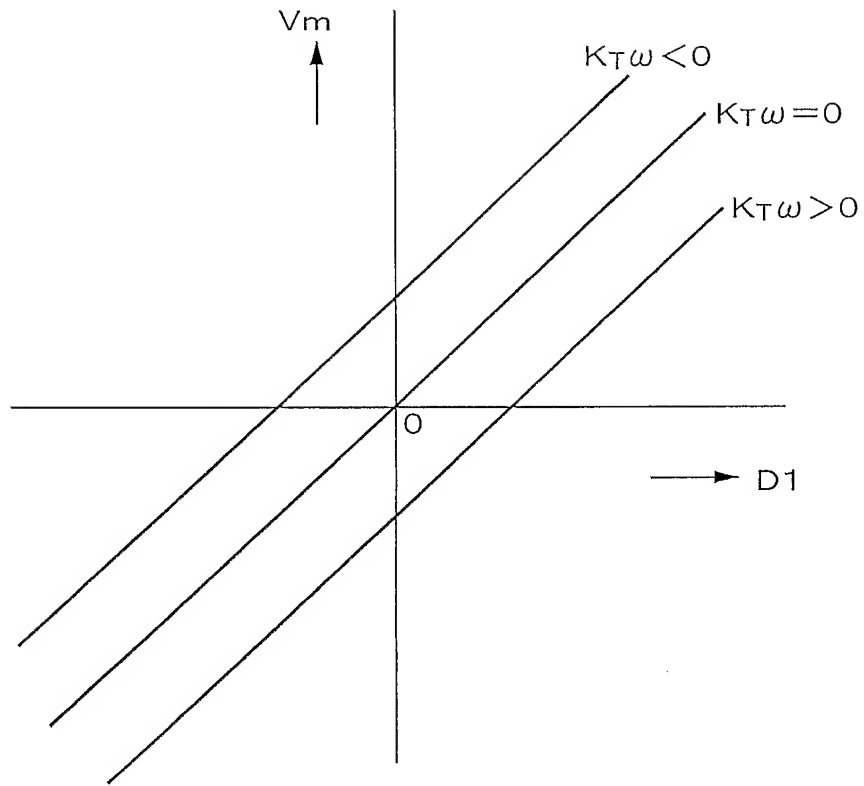
第1図



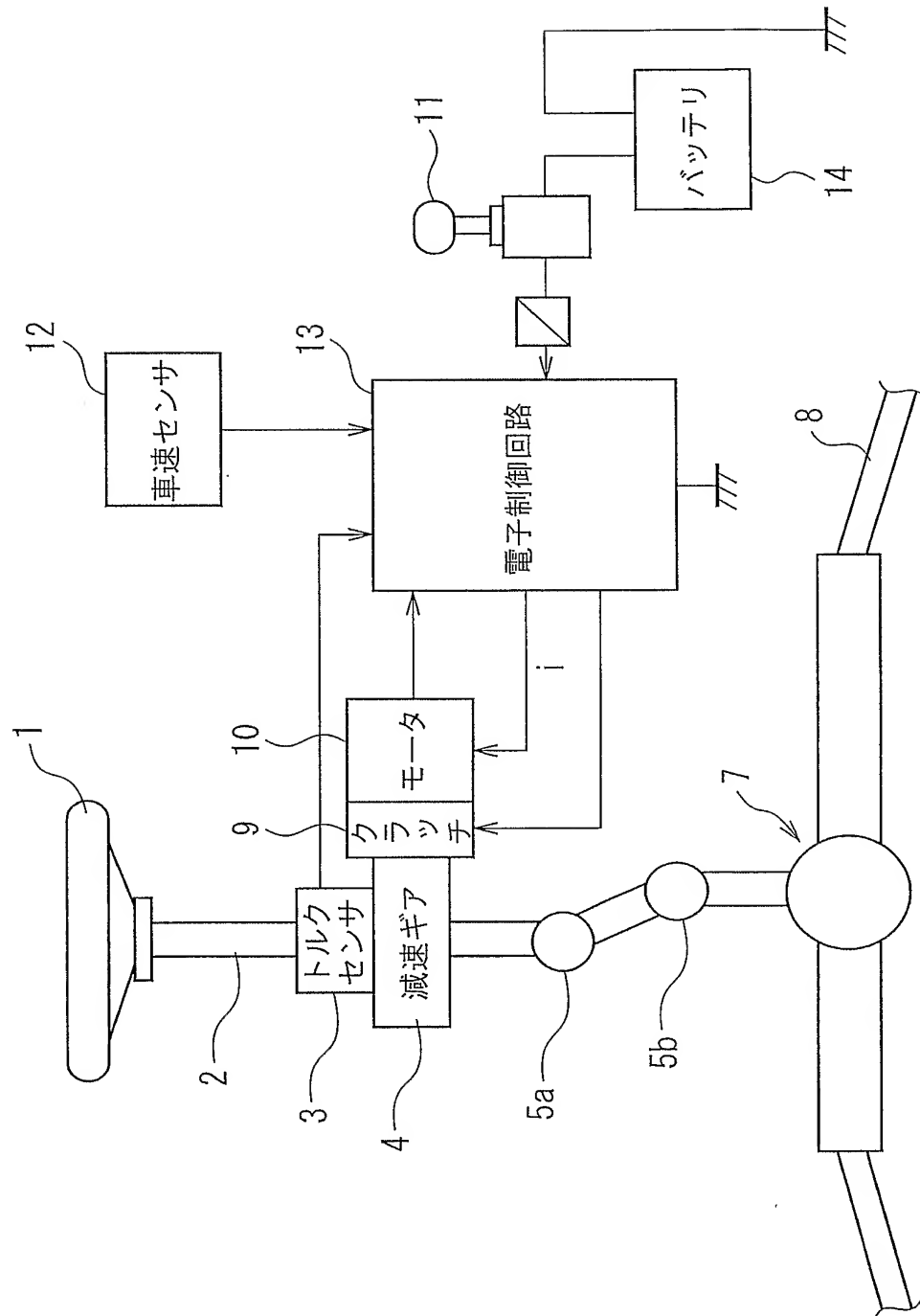
第2図



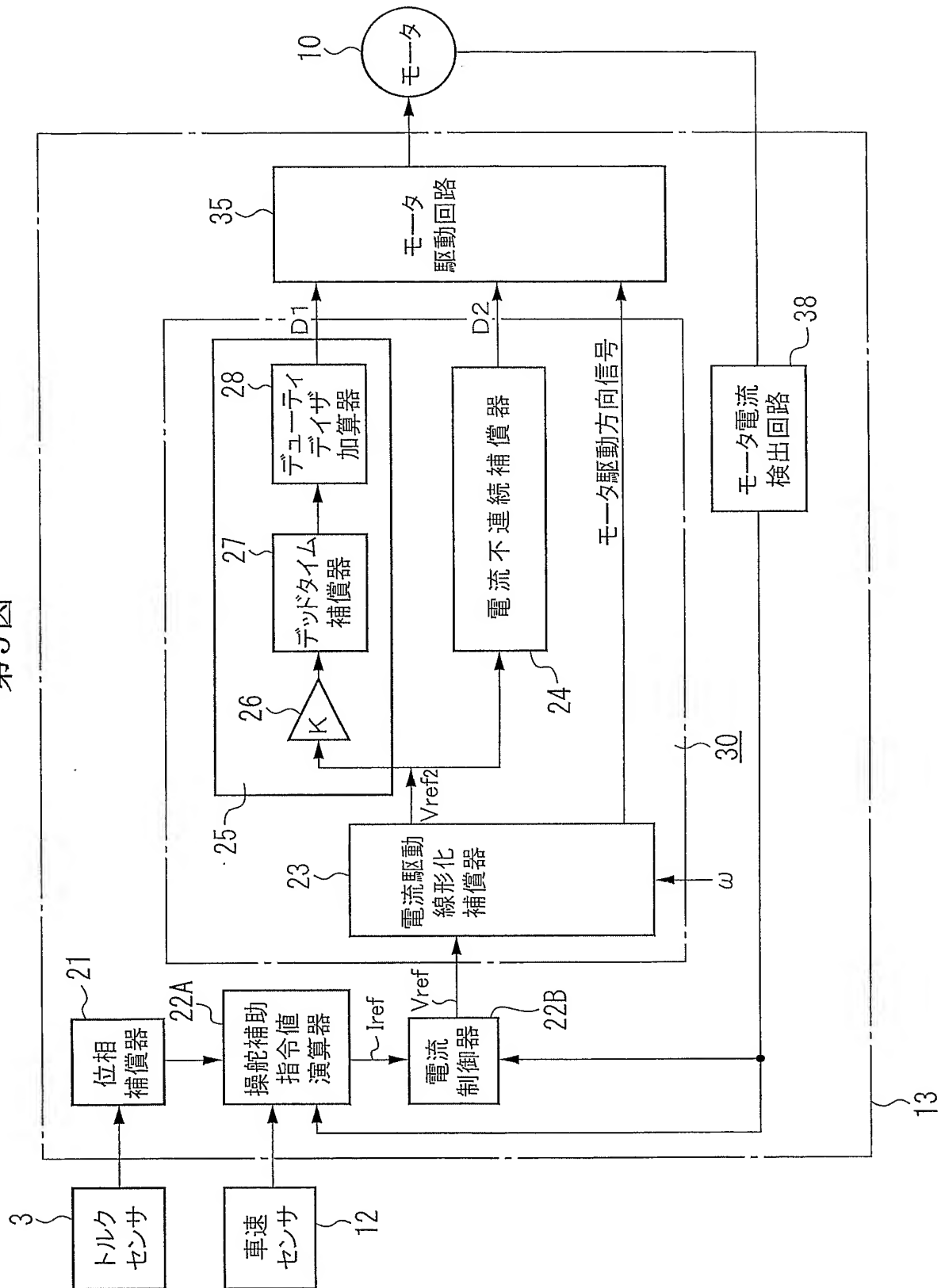
第3図



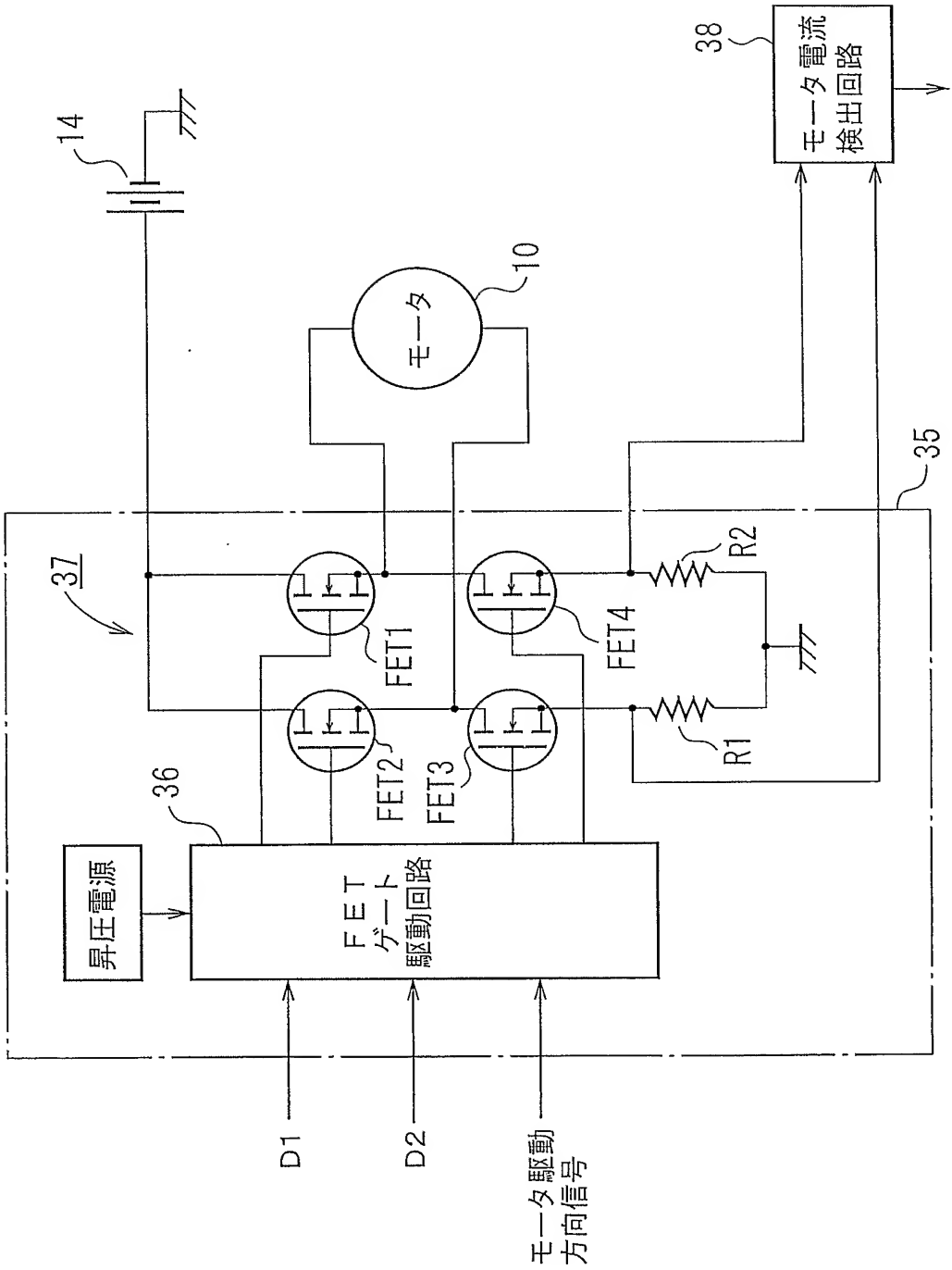
第4図



第5図

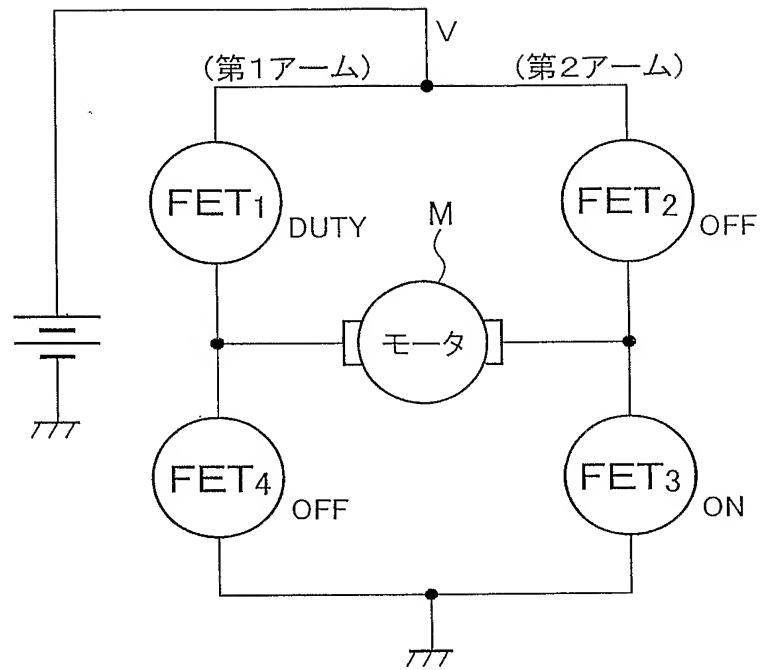


第6図



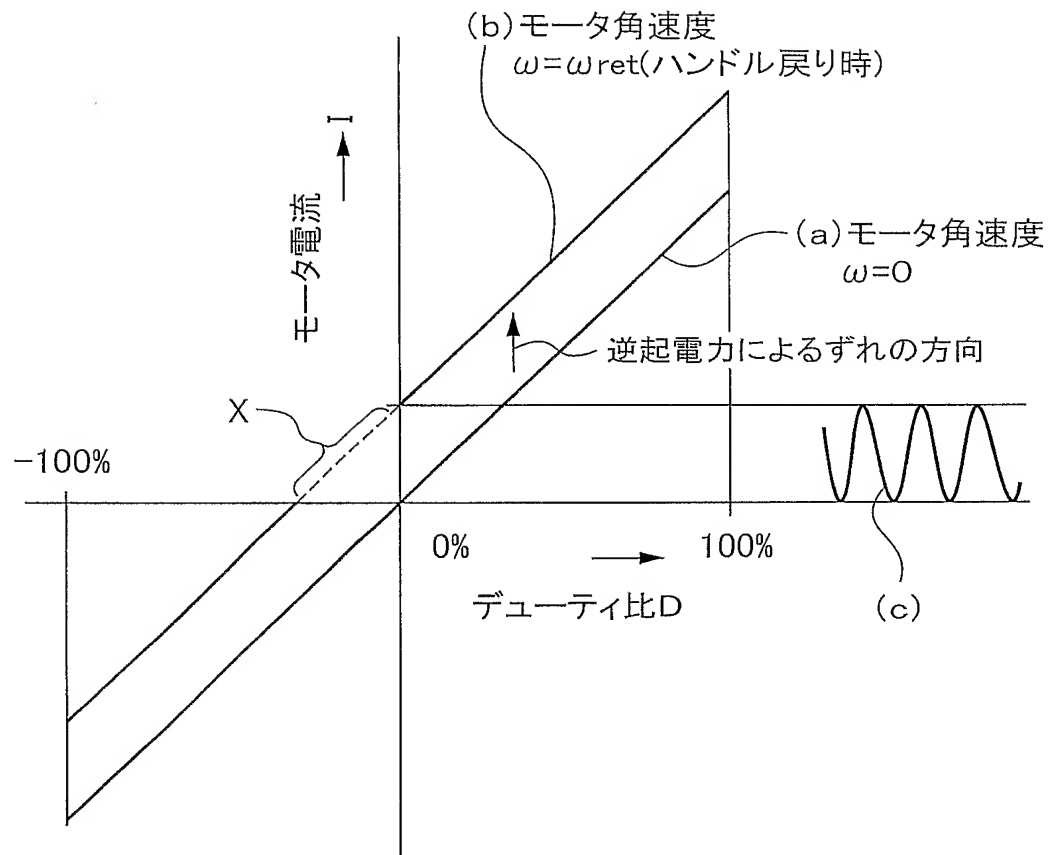
7/9

第7図



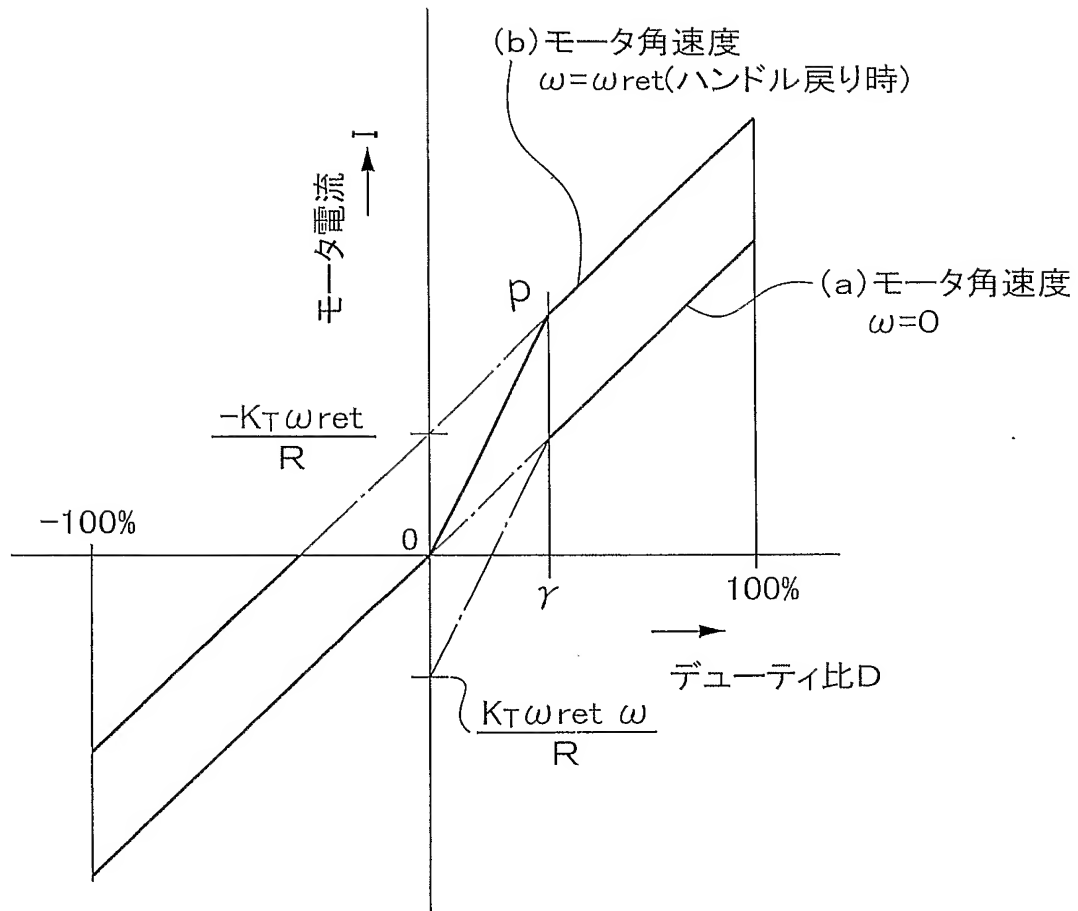
8/9

第8図



9/9

第9図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018425

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ B62D6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ B62D6/00-6/06, B62D5/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-30431 A (Honda Motor Co., Ltd.), 04 February, 1997 (04.02.97), Full text; Figs. 1 to 7 & US 5809438 A1	1-8
A	JP 8-67266 A (Honda Motor Co., Ltd.), 12 March, 1996 (12.03.96), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-8
A	JP 6-219311 A (Mitsubishi Electric Corp.), 09 August, 1994 (09.08.94), Full text; Figs. 1 to 7 & US 5404960 A1	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
14 March, 2005 (14.03.05)

Date of mailing of the international search report
05 April, 2005 (05.04.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018425

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-86423 A (NSK Ltd.), 31 March, 1997 (31.03.97), Full text; Figs. 1 to 11 & US 5801504 A1	1-8
A	JP 8-337172 A (NSK Ltd.), 24 December, 1996 (24.12.96), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-8
A	JP 9-39810 A (NSK Ltd.), 10 February, 1997 (10.02.97), Full text; Figs. 1 to 18 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B62D6/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B62D6/00-6/06, B62D5/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 9-30431 A (本田技研工業株式会社) 1997. 02. 04, 全文, 第1-7図 & US 5809438 A1	1-8
A	J P 8-67266 A (本田技研工業株式会社) 1996. 03. 12, 全文, 第1-7図 (ファミリーなし)	1-8
A	J P 6-219311 A (三菱電機株式会社) 1994. 08. 09, 全文, 第1-7図 & US 5404960 A1	1-8
A	J P 9-86423 A (日本精工株式会社) 1997. 03. 31, 全文, 第1-11図 & US 5801504 A1	1-8
A	J P 8-337172 A (日本精工株式会社) 1996. 12. 24, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 03. 2005

国際調査報告の発送日

05. 4. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森 宏和

3 Q

3025

電話番号 03-3581-1101 内線 6746

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 9-39810 A (日本精工株式会社) 1997. 02. 10, 全文, 第1-18図 (ファミリーなし)	1-8